

PERPINDAHAN PANAS PIPA KALOR SUDUT KEMIRINGAN $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$

I Wayan Sugita

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta

e-mail : wayan_su@yahoo.com

ABSTRAK

Pipa kalor adalah perangkat yang dapat memindahkan panas dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan kecepatan tinggi, penurunan temperatur relatif kecil dan kapasitas perpindahan panas yang besar.

Dalam tulisan ini dilakukan pengujian untuk membandingkan kemampuan pipa kalor dalam memindahkan panas dengan variasi sudut. Untuk itu dibuat pipa kalor tembaga dengan diameter luar 9.525 mm, tebal 0.8 mm, panjang 300 mm yang akan diuji kemampuan memindahkan panas pada sudut $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ dan 90° terhadap arah horizontal. Fluida kerja yang digunakan adalah air, karena mudah didapat serta memenuhi syarat utama sebagai fluida kerja, yaitu tidak bereaksi dengan material pipa maupun struktur sumbu (wick) dan mampu beroperasi pada temperatur $30^\circ - 200^\circ\text{C}$, memiliki sifat termal stabil dan panas laten yang tinggi. Wick yang digunakan adalah wick stainless steel mesh 100. Pendinginan dilakukan secara konveksi paksa menggunakan air pada kondensor dengan debit air yang konstan. Beban panas yang diberikan pada evaporator tetap yaitu 14 W. Posisi pipa kalor bervariasi dengan sudut $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ dan 90° terhadap arah horizontal. Pipa kalor dievaluasi secara eksperimen. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa kapasitas perpindahan panas pipa kalor meningkat dengan naiknya sudut. Pada sudut 0° laju perpindahan panas hanya 5.95 W dan meningkat menjadi 9.73 W pada sudut 90° .

Kata Kunci : Pipa Kalor, Wick, Fluida Kerja

1. Pendahuluan

Salah satu alat pemindah panas yang mampu memindahkan panas dengan cepat dan dengan penurunan temperatur yang kecil adalah pipa kalor (*heat pipe*).

Keunggulan pipa kalor dibandingkan dengan penghantar panas jenis lain adalah:

- Kapasitas pemindahan panas yang besar
- Beda temperatur pemindahan panas relative konstan
- Mampu menghantarkan panas cepat dan untuk jarak yang jauh

Pipa kalor berbeda dengan alat penghantar panas yang lain, terutama karena kecepatan penghantaran panasnya sangat tinggi dengan nilai konduktivitas setara dengan beberapa ratus kali lipat konduktivitas termal tembaga. Hal ini disebabkan oleh adanya fluida murni yang terdapat didalam pipa kalor yang berubah fasa ketika melakukan perpindahan panas.

2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk membandingkan kemampuan pipa kalor dalam memindahkan panas pada variasi sudut $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ dan 90° .

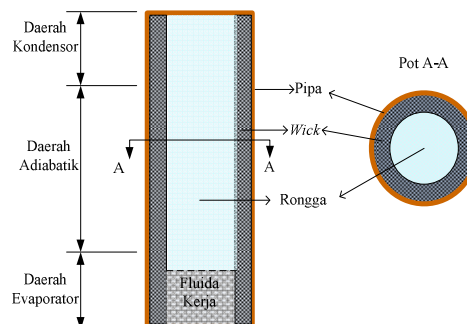
3. Kajian Teori

3.1 Pipa Kalor

Pipa kalor adalah perangkat yang dapat memindahkan panas dari suatu titik ke titik yang lain dengan sangat cepat pada beda temperature yang relatif kecil dan konstan dengan kapasitas perpindahan panas yang besar ^[1].

3.2 Struktur Pipa Kalor

Pipa kalor terdiri atas pipa berongga yang kedua ujungnya tertutup yang didalamnya terdapat fluida kerja dan struktur sumbu (*wick*) seperti ditunjukkan oleh gambar 1. Daerah pipa kalor secara aksial dibagi menjadi tiga bagian yaitu daerah evaporator, adiabatik dan kondensor.



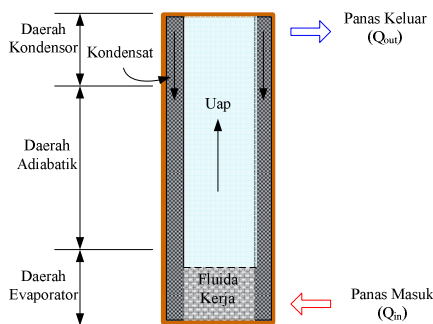
Gambar 1. Struktur Pipa Kalor

Material yang umum dipakai sebagai pipa adalah ^[2]:

- Aluminium
- Tembaga
- Stainless Steel

3.3 Prinsip Kerja Pipa Kalor

Prinsip kerja dari pipa kalor adalah panas masuk ke pipa kalor melalui daerah evaporator, merambat melewati dinding pipa secara radial kemudian memanasi dan menyebabkan fluida kerja yang ada di dalam pipa menguap. Uap yang terbentuk mengalir ke ujung kondensor pipa kalor melalui rongga uap yang berada di dalam dengan kecepatan yang sangat tinggi. Sampai di kondensor panas dari uap ini diambil oleh pendingin melalui dinding pipa sehingga uap ini terkondensasi, kondensat yang terbentuk pada dinding pipa dan permukaan struktur sumbu mengalir kembali ke evaporator melalui struktur sumbu dengan efek kapilaritas atau gaya gravitasi ^{[1][3]}. Sirkulasi fluida kerja terjadi secara kontinyu selama pipa kalor beroperasi dengan normal. Proses ini akan berlangsung secara terus menerus sepanjang adanya panas yang diterima dibagian evaporator seperti ditunjukkan oleh gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Proses perpindahan panas pipa kalor

4. Perancangan dan Pembuatan Pipa Kalor

Untuk menghitung laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas pipa kalor digunakan bahan pipa dari tembaga dengan dimensi diameter luar 9.525 mm, tebal 0.8 mm dan panjang 300 mm. Pipa kalor tembaga pada salah satu ujungnya dilengkapi dengan katup pentil untuk memvakumkannya seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Rancangan Pipa Kalor Tembaga

Fluida kerja yang digunakan adalah air dengan filling ratio 10%. Alasan penggunaan air sebagai fluida kerja karena mudah didapat serta memenuhi syarat utama sebagai fluida kerja, yaitu tidak bereaksi dengan material pipa maupun struktur sumbu (*wick*), mampu beroperasi pada temperatur 30° - 200°C, sifat termalnya stabil dan panas laten yang tinggi. Sedangkan struktur sumbu yang akan digunakan adalah struktur sumbu anyaman (*wire mesh screen*) dengan bahan stainless steel AISI 304 angka mesh sebesar 100. Gambar 4 menunjukkan struktur sumbu yang telah dimasukkan ke dalam pipa tembaga.

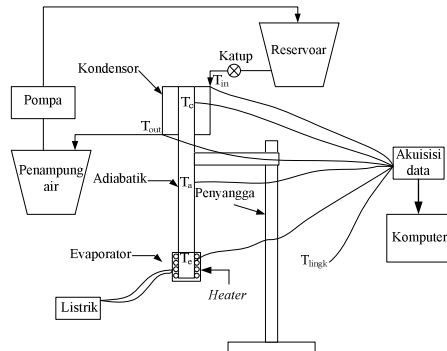


Gambar 4. Pipa Kalor dengan Wick

Untuk proses pembuangan panas dari pipa kalor digunakan selubung kondensor dengan diameter luar 12 mm dan panjang 50 mm. Kondensor dialiri dengan air pendingin yang mengalir secara paralel dengan aliran uap didalam pipa kalor. Air pendingin bersumber dari reservoir yang ditempatkan lebih tinggi dari pipa kalor dengan *head* konstan. Debit air pendingin dapat diatur sesuai kebutuhan dengan cara mengatur bukaan katup pada reservoir. Sedangkan untuk pemanasan pipa kalor digunakan pemanas listrik (*heater*) dari kawat nikelin.

Rancangan keseluruhan sistem pengujian pipa kalor ditunjukkan oleh gambar 5. Pipa kalor dipanaskan menggunakan *heater* pada daerah evaporator. Untuk pendinginan pada daerah kondensor menggunakan air yang bersumber dari reservoir yang dialirkan ke kondensor dan akan

ditampung dalam penampung air. Supaya air pendingin selalu kontinyu maka dipasang pompa untuk mengalirkan air dari penampung ke reservoir. Reservoir dibuat sedemikian rupa sehingga ketinggian air didalamnya konstan untuk menjaga supaya debit air pendingin tetap konstan selama operasi. Reservoir dilengkapi dengan katup sehingga debit air pendingin dapat diatur. Pencatatan data menggunakan akuisisi data yang kemudian disimpan di dalam komputer. Realisasi rancangan keseluruhan sistem pengujian pipa kalor ditunjukkan oleh gambar 6.



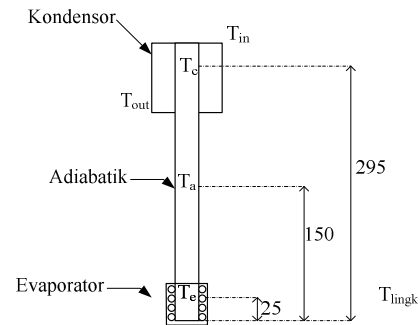
Gambar 5. Rancangan keseluruhan sistem pengujian pipa kalor



Gambar 6. Realisasi rancangan keseluruhan sistem pengujian pipa kalor

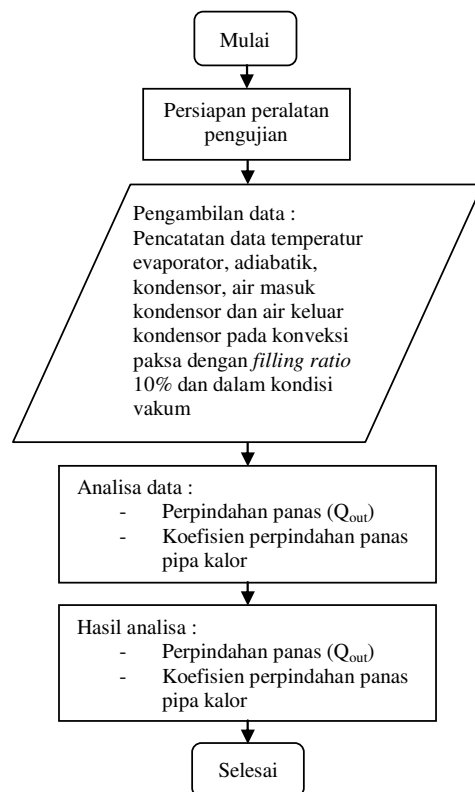
5. Pengujian

Pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe T yang dilekatkan pada pipa dengan posisi diukur dari ujung evaporator, yaitu 25 mm (evaporator, T_c), 150 mm (adiabatic, T_a) dan 295 mm (kondensor, T_c), juga pada air pendingin yang masuk (T_{in}) dan keluar selubung kondenser (T_{out}) serta temperatur lingkungan (T_{lingk}) seperti yang ditunjukkan oleh gambar 7.



Gambar 7. Pemasangan termokopel pada pipa kalor (mm)

Pada bagian evaporator dipasang elemen pemanas sepanjang 50 mm. Untuk bagian kondensor menggunakan pendingin air dengan jenis parallel flow, yaitu aliran air pendingin searah dengan aliran uap dalam pipa kalor. Panjang selubung kondensor 50 mm.



Gambar 9 Alur pengujian dan pengolahan data

Pengujian dilakukan dengan pendinginan konveksi paksa menggunakan media air. Sumber panas berasal dari heater. Pipa kalor di uji pada sudut kemiringan 90° terhadap sumbu horizontal, dengan evaporator selalu dibawah kondensor. Untuk daya yang digunakan tetap sebesar 14 W. Laju aliran fluida pendingin adalah 6×10^{-4} kg/s. Perbandingan volume fluida cair

terhadap volume pipa kalor (filling ratio) adalah 10% .

Data temperatur diambil dengan menggunakan termokopel yang ditempelkan pada permukaan luar pipa kalor dan dicatat menggunakan sistem akuisisi data (Labjack U6). Untuk mengetahui jumlah panas yang diserap oleh air pendingin, dipasang termokopel pada bagian masuk dan keluar aliran air pendingin. Laju aliran air pendingin diukur pada keadaan tunak dengan gelas ukur dan pencatat waktu, secara manual dan berulang.

6. Hasil Dan Pembahasan

Persamaan untuk menghitung perpindahan panas yang terjadi dalam pipa kalor adalah :

$$Q_{out} = \dot{m}_w c_{pw} (\bar{T}_{out} - \bar{T}_{in}) \quad (1)$$

dimana :

- \dot{m}_w : Laju aliran air pendingin (kg/s)
- c_{pw} : Kalor jenis air (J/kg K)
- \bar{T}_{in} : Temperatur rata-rata air pendingin masuk ($^{\circ}\text{C}$)
- \bar{T}_{out} : Temperatur rata-rata air pendingin keluar ($^{\circ}\text{C}$)

Dengan asumsi pipa kalor dianggap sebagai benda pejal maka persamaan yang digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan panas pipa kalor adalah :

$$k = \frac{Q_{out} l}{A(\bar{T}_e - \bar{T}_c)} \quad (2)$$

dimana:

- $A = 1/4 \times \pi \times D^2$
- D : Diameter Pipa (m)
- A : Luas Penampang pipa kalor (m^2)
- l : Jarak evaporator dan kondensor (m)
- k : Koefisien perpindahan panas (W/m $^{\circ}\text{C}$)
- Q_{out} : Panas keluar (W)
- \bar{T}_c : Temperatur rata-rata dinding luar pipa kondensor ($^{\circ}\text{C}$)
- \bar{T}_e : Temperatur rata-rata dinding luar pipa evaporator ($^{\circ}\text{C}$)

Tabel 1. Variasi perubahan temperatur pipa kalor terhadap sudut kemiringan

Sudut	Temperatur Pipa Kalor			
	T_e ($^{\circ}\text{C}$)	T_c ($^{\circ}\text{C}$)	T_{in} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{out} ($^{\circ}\text{C}$)

90°	60.37	59.83	25.16	29.03
60°	60.79	60.16	25.68	29.44
45°	61.39	60.72	26.68	30.27
30°	61.65	61.00	27.29	30.77
0°	64.27	63.61	28.29	30.65

Perhitungan

Untuk melakukan perhitungan laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas pipa kalor digunakan data hasil pengukuran pada sudut 90°. Selanjutnya perhitungan yang lain dilakukan menggunakan bantuan program excel 2007.

Perpindahan panas (Q_{out}) pipa kalor:

- \dot{m}_w : 6.00E – 04 (kg/s)
- c_{pw} : 4200 (J/kg K)
- D : 9.53E – 03 (m)
- A : 7.13E – 05 (m^2)
- l : 0.27 (m)
- \bar{T}_{in} : 25.16 ($^{\circ}\text{C}$)
- \bar{T}_{out} : 29.03 ($^{\circ}\text{C}$)
- \bar{T}_c : 59.83 ($^{\circ}\text{C}$)
- \bar{T}_e : 60.37 ($^{\circ}\text{C}$)

$$\begin{aligned} Q_{out} &= \dot{m}_w c_{pw} (\bar{T}_{out} - \bar{T}_{in}) \\ &= 6.00\text{E} - 04 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4200 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right) \times \\ &\quad (29.03 - 25.16)(^{\circ}\text{C}) \\ &= 9.73 \text{ (W)} \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan panas (k) pipa kalor :

$$\begin{aligned} k &= \frac{Q_{out} l}{A(\bar{T}_e - \bar{T}_c)} \\ &= \frac{9.73 \text{ (W)} \times 0.27 \text{ (m)}}{7.13\text{E} - 05 \text{ (m}^2) \times (60.37 - 59.83)(\text{K})} \\ &= 68035.88 \text{ (W/mK)} \end{aligned}$$

Data hasil pengukuran temperature pipa kalor dalam keadaan steady ditunjukkan oleh tabel 2.

Perpindahan panas (Q_{out}) pipa tembaga pejal:

- \dot{m}_w : 6.00E – 04 (kg/s)
- c_{pw} : 4200 (J/kg K)
- D : 9.53E – 03 (m)
- A : 7.13E – 05 (m^2)

$$\begin{aligned} l &: 0.27 \text{ (m)} \\ \bar{T}_{in} &: 29.40 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \\ \bar{T}_{out} &: 32.47 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \\ \bar{T}_c &: 36.03 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \\ \bar{T}_e &: 120.28 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{out} &= \dot{m}_w c_{pw} (\bar{T}_{out} - \bar{T}_{in}) \\ &= 6.00E - 04 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \times 4200 \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right) \times \\ &\quad (32.47 - 29.40) (^{\circ}\text{C}) \\ &= 7.75 \text{ (W)} \end{aligned}$$

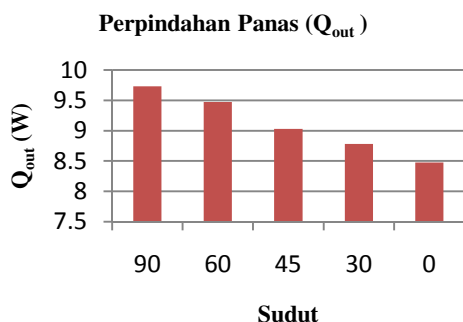
Koefisien perpindahan panas (k) pipa tembaga pejal :

$$\begin{aligned} k &= \frac{Q_{out} l}{A(\bar{T}_e - \bar{T}_c)} \\ &= \frac{7.75 \text{ (W)} \times 0.27 \text{ (m)}}{7.13E - 05 \text{ (m}^2\text{)} \times (120.28 - 36.03) \text{ (K)}} \\ &= 348.33 \text{ (W/mK)} \end{aligned}$$

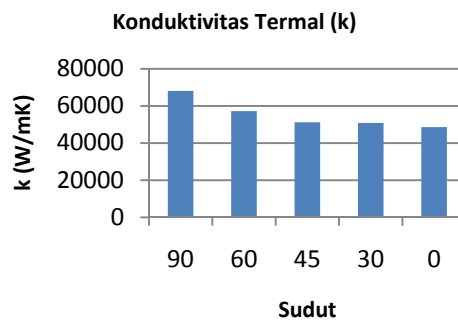
Dari perhitungan data hasil penelitian diperoleh untuk keadaan dan perlakuan yang sama antara pipa kalor tembaga dengan pipa tembaga pejal di peroleh hasil yang berbeda jauh. Untuk pipa kalor tembaga diperoleh perpindahan panas (Q_{out}) sebesar 9.73 W dengan koefisien perpindahan panas sebesar 68035.88 (W/mK). Sedangkan untuk pipa kalor pejal diperoleh perpindahan panas (Q_{out}) sebesar 7.75 W dengan koefisien perpindahan panas sebesar 348.33 (W/mK).

Tabel 2. Laju perpindahan panas dan konduktivitas perpindahan panas pipa kalor terhadap sudut kemiringan

Sudut	Qout (W)	k (W/mK)
90°	9.73	68035.88
60°	9.47	57326.61
45°	9.03	51235.32
30°	8.78	50849.21
0°	5.95	34155.10



Grafik 1. Perpindahan panas pipa kalor



Grafik 2. Konduktivitas Termal Pipa Kalor

7. Kesimpulan :

Dari hasil penelitian diperoleh data bahwa kenaikan sudut terhadap arah horizontal meningkatkan laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas dari pipa kalor. Pada sudut 0° laju perpindahan panas hanya 5.59 W dengan koefisien perpindahan panas 34155.10 (W/mK) dan meningkat menjadi 9.73 W dengan koefisien perpindahan panas 68035.88 (W/mK) pada sudut 90°.

REFERENSI

- Dunn, P., and Reay, D A, **Heat Pipes**, Third Edition, Pergamon Press, Oxford United Kingdom, (1982).
- Takaoka, Michio; Motai Tsuneaki dkk, **Development of Long Heat Pipes and Heat Pipe Applied Products**, Fujimura Technical Review, (1958).
- Chi, S.W., **Heat Pipe Theory and Practice**, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, (1976).
- Reay, David., Kew, Peter, **Heat Pipes Theory, Design and Application**, Fifth Edition, Elsevier, United Kingdom, (2006).
- Engineering Science Data Unit, **Heat Pipes – performance of capillary – driven design**, 79012, (1980)